引用格式：李学友，于秋鹏，胡哲畅，等．中国亚洲象生态廊道建设构想及相关保护建议．中国科学院院刊, 2023, 38(12): 1845-1855, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230923003.
Li X Y, Yu Q P, Hu Z C, et al. Conception on Asian elephant ecological corridor planning with implications for conservation. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(12): 1845-1855, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230923003. (in Chinese)

中国亚洲象生态廊道建设构想及相关保护建议

李学友　于秋鹏　胡哲畅　蒋学龙*

中国科学院昆明动物研究所　遗传资源与进化国家重点实验室&
云南省高黎贡山生物多样性与生态安全重点实验室　昆明　650201

摘要　为践行“绿水青山就是金山银山”和“山水林田湖草沙是生命共同体”协调发展的理念，文章以党的二十大报告中提出的“推动绿色发展，促进人与自然和谐共生”为理论指导，以提升生态系统完整性与连通性、增进种群交流、提高种群生存力、建设旗舰物种生态廊道提供示范为目标，基于亚洲象种群分布现状及栖息地选择策略，按照“获取物种分布—识别源地斑块和阻力面—基于最小成本路径模型构建廊道—通过电流模型分析廊道中心度、生态夹点和障碍点—实地勘察—调整优化生态廊道设计—推荐廊道建设设计方案—对野生动物利用生态廊道开展长期监测”的技术流程，提出了亚洲象生态廊道建设构想及相关保护建议。上述构想和建议服务于“加大生态系统保护力度”“优化生态安全屏障体系，构建生态廊道和生物多样性保护网络”的战略布局，可为亚洲象种群的科学保护和有效管理提供技术支撑，为栖息地恢复与拟建亚洲象国家公园等自然保护地的布局提供科学依据。

关键词　亚洲象，生态廊道，保护，人象冲突

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20230923003

CSTR　32128.14.CASbulletin.20230923003

2020年3月，中国云南省的一群亚洲象从西双版纳傣族自治州的原始栖息地一路向北，途经普洱市、玉溪市、红河哈尼族彝族自治州、昆明市，经过500多天、1 300多公里的长途跋涉后又安全返回，牵动全球媒体的目光，“大象要去哪儿”变成了全世界都在追的连续剧，北移象群成了“国际网红”。这一

*通信作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA23080501）
修改稿收到日期：2023年11月15日

事件从一个侧面向世界展示了中国对于生物多样性保护的决心和行动，同时也对亚洲象保护工作提出了生态廊道建设等新要求。2021年10月12日，习近平主席在《生物多样性公约》第十五次缔约方大会领导人峰会上的主旨讲话中提到：“云南大象的北上及返回之旅，让我们看到了中国保护野生动物的成果。中国将持续推进生态文明建设，坚定不移贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，建设美丽中国。”

1 亚洲象保护现状与人象冲突

1.1 亚洲象的种群数量及分布

亚洲象（*Elephas maximus*）是亚洲现存体型最大、最具代表性的陆生脊椎动物，是维持森林生态系统的“工程师”，野生亚洲象现约有45 671—49 028头，分布在印度、斯里兰卡、缅甸、泰国及中国等13个国家，由于亚洲象种群数量持续下降，且受到栖息地压缩与破碎化、猎杀等威胁，被世界自然保护联盟（IUCN）评估为濒危物种，列入《濒危野生动植物物种国际贸易公约》（CITES）附录I物种，也是中国国家一级重点保护野生动物①。

1.2 中国亚洲象的数量及分布

亚洲象分布在我国云南省南部和藏南地区（图1），在我国对亚洲象强有力的保护下，其种群数量持续增加。2018年，中国云南野生亚洲象资源本底调查结果显示云南省野生亚洲象种群至少有293头，相比1976年第1次对亚洲象系统性调查时记录的101头增长了近3倍[1]。近年监测显示，云南省野生亚洲象无非正常死亡个体，且不断有新生幼象，估计现有亚洲象种群数量已远超300头[2]。有研究对云南省最大（189头）和最小（12头）的亚洲象种群分别进行了种群生存力分析，结果表明其近期均无生存瓶颈[3,4]。

1.3 已采取的主要保护措施

为了保护亚洲象，中国在国内的亚洲象分布地建立了西双版纳国家级自然保护区、云南南滚河国家级自然保护区等以亚洲象为主要保护对象的自然保护区，成立了西双版纳州亚洲象救护与繁育中心，建设了多个亚洲象食源地、人工硝塘、亚洲象监测塔，并在建设高速公路和中老昆万铁路过程中大量采用高架桥与隧道，避免对亚洲象种群与栖息地造成阻隔[5-7]。此外，为保护亚洲象，中国还于2016年12月30日发布了《国务院办公厅关于有序停止象商业性加工销售象牙及制品活动的通知》，明确要求关停象牙加工和销售场所，并在2017年12月31日前全面停止加工销售象牙及制品活动。

1.4 种群增长带来的人象冲突

随着亚洲象种群数量增加，原有栖息地环境发生变化，难以容纳数量持续增长的亚洲象种群，致使亚洲象向外扩散，并逐渐靠近甚至进入人类主导的区域，出现人象活动时空重叠的情况[8]。据2018年亚洲象本底调查结果显示，仅有22.9%的亚洲象栖息于保护区内，14.7%的亚洲象生活在保护区边缘，而高达62.4%的亚洲象活动于保护区外，亚洲象与当地居民的接触难以避免，并逐渐增多。

目前，人象冲突已成为我国亚洲象保护与管理面临的最大挑战。2013—2017年，云南省因亚洲象造成24人死亡、26人受伤，经济损失高达9 366.03万元。2011—2020年，澜沧—勐海种群（19头）造成31人死亡、50余人受伤，经济损失近2 000万元[9]。2021年，北移象群肇事损失共申报1 501件，评估定损512.52万元②。亚洲象在进入人类生产生活区后，其生活习性

① Asian elephant. (2019-09-18)[2023-11-15]. https://www.iucnredlist.org/species/7140/45818198.

② 大象奇游记——云南亚洲象群北移南归纪实. (2021-08-11)[2023-11-15]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-08/11/content_5630737.htm.

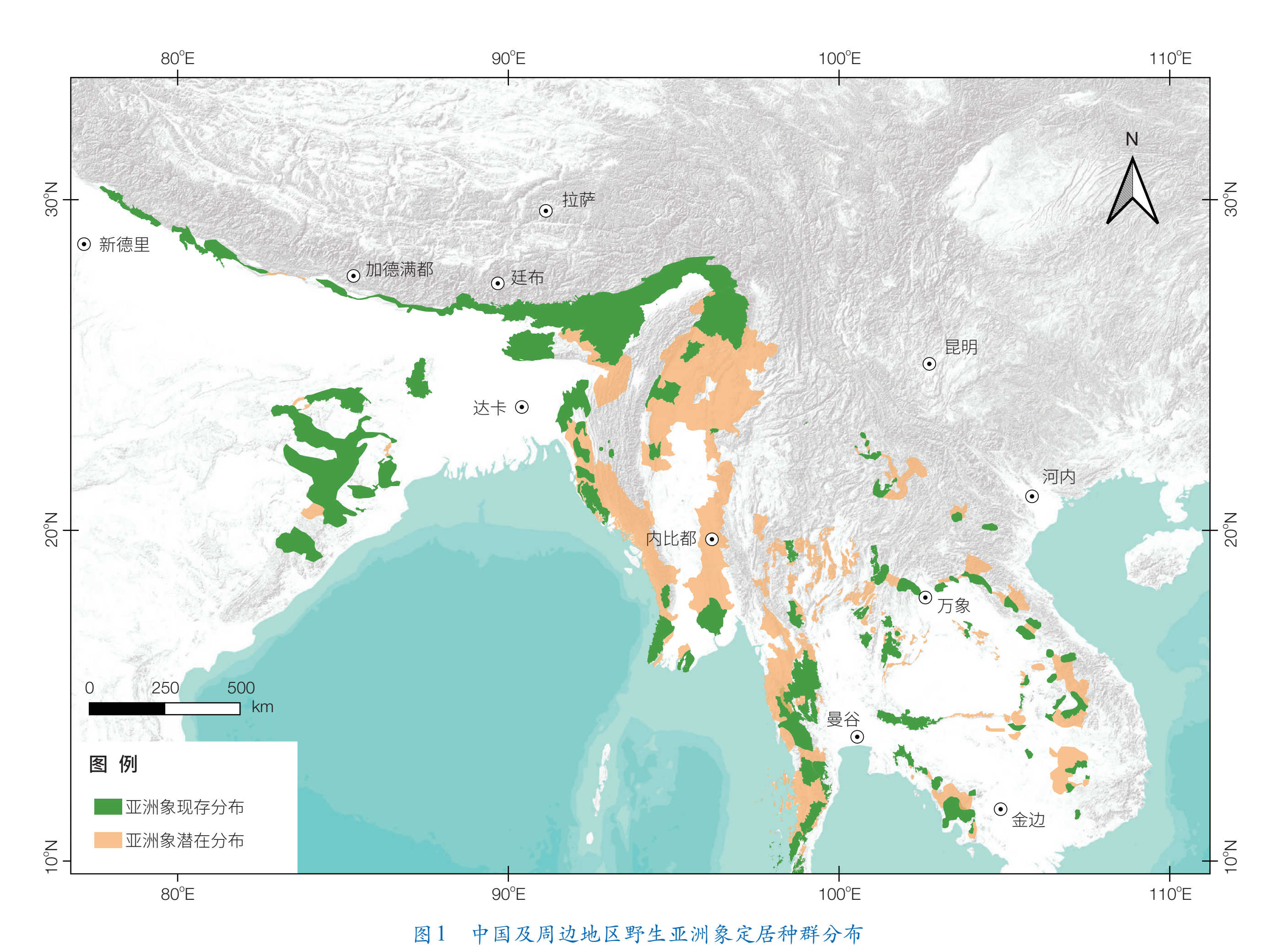


图 1　中国及周边地区野生亚洲象定居种群分布

Figure 1　Distribution of wild Asian elephant population in China and surrounding areas

数据来源：世界自然保护联盟（IUCN）濒危物种红色名录数据（https://www.iucnredlist.org/en）

Data source: IUCN Red List of Threatened Species (https://www.iucnredlist.org/en)

发生显著变化，大量取食农作物，进入村寨盗食粮食与食盐。亚洲象活动区周边83%的居民表示农作物遭受过损害[10]。同时，由于亚洲象在村寨周边频繁活动，致使当地居民无法及时进行采摘茶叶、收割橡胶等生产活动，导致巨大的间接损失和沉重的心理压力[10]。尽管如此，我国也从未发生因亚洲象肇事而报复并导致亚洲象伤亡的事件。然而，亚洲象肇事仍然频繁发生，对当地居民生命财产安全的威胁依然存在，当地经济发展也受到影响、有所迟滞。为更好保护亚洲象，缓解人象冲突将是实现人象共存的重要举措。

1.5 目前应对人象冲突的主要措施

有研究认为亚洲象的肇事次数在人象冲突造成的后果关系中居于核心地位，故应以减少肇事次数为目的开展缓解人象冲突的工作[10]。目前，我国已开展大量缓解人象冲突的工作，包括基于无人机、红外相机和亚洲象预警系统等监测措施，电脉冲围栏、防象沟等防护措施，野生动物肇事公众责任险等补偿措施，食源地、硝塘建设与栖息地修复等保护措施。但除了预警系统等监测措施外，其他措施均存在覆盖面不广、投入较大但成效不明显、不可持续等问题。国外有研究曾对一些缓解措施的效果进行评估，其结果也

较为类似。例如，在斯里兰卡，肇事象被送回保护区后，仍常返回原肇事地并进一步发生冲突[11]；在印度，亚洲象通过长期适应，不再惧怕篝火和剧烈声响等警示措施[12]。

1.6 构建生态廊道的必要性

在物种保护的诸多生态过程中，景观连通性往往至关重要[13]。随着经济社会的发展，种植业大规模兴起、公路铁路等线性交通设施和水库等水利设施兴建，自然植被遭到破坏，形成大量人工隔离带，造成中国亚洲象种群栖息地岛屿化、破碎化，将亚洲象种群隔离于不同的“孤岛”中，严重阻碍种群间交流，威胁亚洲象的生存与发展。例如，版纳—普洱种群活动区域被思茅—小勐养高速公路分割成东、西2部分；澜沧—勐海种群因澜沧江兴建的景洪水电站淹没迁移通道而滞留形成独立种群；勐腊—尚勇种群受村镇、水库及景区的阻隔仅活动于临近老挝的保护区[14]。人象活动空间重叠带来激烈的人象冲突与矛盾，更是威胁到亚洲象分布区周边社区居民的生命财产安全和亚洲象种群的保护。对于亚洲象等生活在人类主导的破碎化生境中的物种，种群长期生存的关键取决于能否保证其在大型景观中自由穿行的能力[15]。

在栖息地斑块之间构建生态廊道能够增加景观连通性，提供更大的栖息地范围，改善栖息地的结构和功能，有效缓解种群隔离，保证种群交流[16]，从而减少亚洲象对农地的利用强度，减轻对种植业的影响，缓解人象冲突。生态廊道还可以通过缓解自然栖息地转化为人类主导栖息地过程中导致的景观破碎化以增加物种生存能力[17]。生态廊道将栖息地斑块连接成一个整体的生态保护网络，在面对气候变化时往往具有更强的恢复力，物种可以转移到新的栖息地作为气候避难所，并增加获取资源的可能[18]。利用天然的和人工的亚洲象生态廊道维持并实现景观连通性，也可以发挥廊道对其他野生动植物迁移的积极作用[19]。党的十九大和二十大报告中分别指出：“实施重要生态系统保护和修复重大工程，优化生态安全屏障体系，构建生态廊道和生物多样性保护网络”“提升生态系统多样性、稳定性、持续性。以国家重点生态功能区、生态保护红线、自然保护地等为重点，加快实施重要生态系统保护和修复重大工程”，构建生态廊道和生物多样性保护网络成为建设美丽中国的重要举措之一。

2 亚洲象生态廊道建设构想

2.1 亚洲象生态廊道设计原理

现有研究证明，保护物种、栖息地及生态系统的前提是要维持斑块间的功能性连接[20,21]。生态廊道作为亚洲象保护的重要举措之一，旨在连接破碎化的亚洲象栖息地斑块，提升整个景观的连通性，帮助亚洲象适应气候变化，增强亚洲象种群生存能力[14,22]。同时，温度升高、降水减少等气候变化导致了自然植被与土地利用的改变，降低了食物及水资源可得性，进一步影响了亚洲象栖息地的适宜性与分布[23,24]。因此，在亚洲象生态廊道设计与规划过程中需要明确亚洲象的活动范围，充分考虑亚洲象在栖息地斑块间进行较长距离移动以寻找食物和庇护所时[25]，运动与分布受到气候变化、自然环境和人类活动等因素的影响[26,27]。随着研究人员对生态廊道愈加重视，越来越多的方法理论被应用于生态廊道的识别，基于最小累积阻力模型的最小成本路径（LCP）识别方法和基于电路理论的连接度模型（以下简称“电流模型”）是最常用的2种方法[28,29]。最小累积阻力模型可以将物种在栖息地斑块间运动时受到距离和景观特征的影响转化为需要克服的空间运动阻力，进而识别LCP[5,6]；电流模型则是将物种在景观中的运动过程视为电荷在导电平面上的运动以模拟其运动路线与出现概率，进而评估栖息地斑块的连通性[30,31]。2个模型结合可以优势互补，有效识别栖息地斑块之间的生态廊道与影响景观连通性的景观要素[28]。

2.2 亚洲象生态廊道设计方案

近20年来，陆续有学者对中国亚洲象生态廊道规划提出了许多方案与建议[14,32-34]，但部分生态廊道规划面积较大、距离较远、改造难度大、成本高（图2）。同时，随着亚洲象活动范围逐渐向北移动[31,33]，规划中的部分廊道区域或已成为亚洲象活动区域，或由于环境改变不再适合亚洲象利用。因此，急需以当前亚洲象活动范围重新规划切实可行的生态廊道。

针对气候变化和土地利用改变导致的自然栖息地退化、种群隔离、人象冲突频发等亚洲象保护中面临的突出问题，本研究在已有亚洲象生态廊道规划的基础上[14,32-34]，结合亚洲象种群和栖息地分布、人类活动和土地利用现状，将生态廊道规划的技术流程归纳为“获取物种分布—识别源地斑块和阻力面—基于最小成本路径模型构建廊道—通过电流模型分析廊道中心度、生态夹点和障碍点—实地勘察—调整优化生态廊道设计—推荐廊道建设设计方案—对野生动物利用生态廊道开展长期监测”，并基于2020—2022年度普洱—版纳亚洲象种群数个活动区域斑块作为廊道的起点及终点，以栖息地适宜度指数与理论最大值的差值作为运动成本反映相对真实的运动阻力，通过整合电路理论识别出8条主要生态廊道（图3）。

对模型识别出的廊道进行实地勘察，标记居民

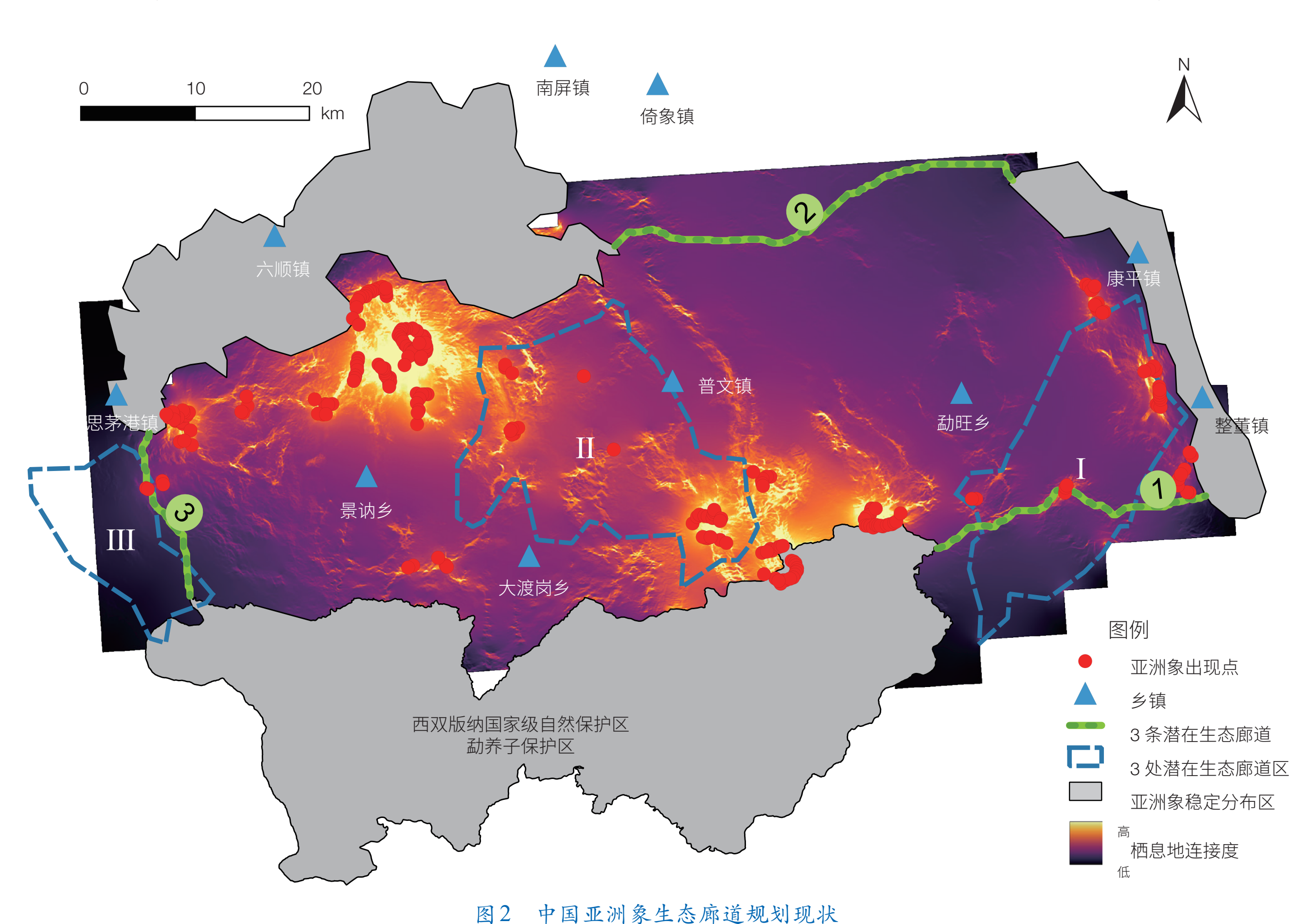


图2 中国亚洲象生态廊道规划现状

Figure 2 Planning status of Asian elephant ecological corridor in China

图中编号I、II、III共3处潜在生态廊道区由Zhang等[33]提出，图中编号1、2、3共3条潜在生态廊道由Huang等[34]提出

The three potential ecological corridor areas numbered I, II, and III in the figure were proposed by Zhang et al.[33], while the three potential ecological corridors numbered 1, 2, and 3 in the figure were proposed by Huang et al.[34]

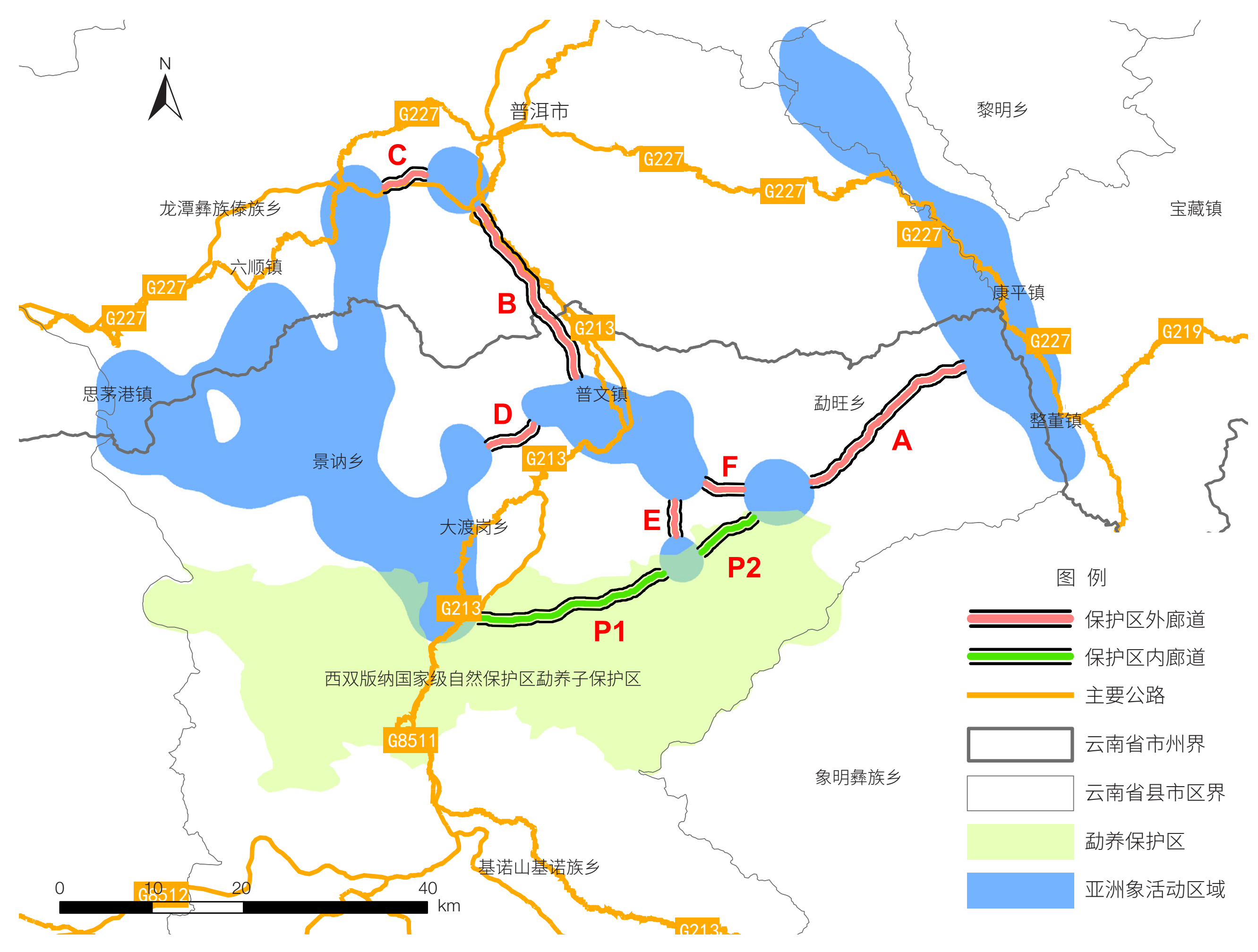


图 3　基于生态廊道规划技术流程识别的亚洲象生态廊道

Figure 3　Asian elephant corridors based on proposed technical process

图中字母所在地图位置标识不同生态廊道，A 标记处为勐旺—江城生态廊道、B 标记处为普文—南屏生态廊道、C 标记处为南屏—六顺生态廊道、D 标记处为普文—景讷生态廊道、E 标记处为普文—班竹林生态廊道、F 标记处为普文—勐旺生态廊道、P1 标记处为景讷—班竹林生态廊道、P2 标记处为勐旺—班竹林生态廊道

The location of the letters in the map identifies the different ecological corridors, A marks Mengwang–Jiangcheng corridor, B marks Puwen–Nanping corridor, C marks Nanping–Liushun corridor, D marks Puwen–Jingne corridor, E marks Puwen–Banzhulin corridor, F marks Puwen–Mengwang corridor, P1 marks Jingne–Banzhulin corridor, and P2 marks Mengwang–Banzhulin corridor

点、道路、耕地、鱼塘等阻力值较大的地物要素，并对模型参数进行调整，获得优化后的廊道。优化后的电流模型结果显示，普文源地作为景观核心及连接东西的枢纽，具有极高的中心度，对于整个景观的连通性至关重要。由普文廊道向东和向西连接大渡岗乡、勐旺镇和康平镇的廊道皆为高中心度的廊道，对整个景观及栖息地与廊道网络的连通性和完整性都起着重要作用（图 3），应具有更高的保护优先级[28,30,31]。勐旺—江城生态廊道（A）和普文—南屏生态廊道（B）这 2 条长距离廊道阻力值为 37.71 和 26.64，相对较高，亚洲象较难通过廊道全程[28,34]，但其单位距离阻力处于较低水平，亚洲象种群在廊道中的通行阻碍较小，故廊道中需为亚洲象保留短暂停留的区域；南屏—六顺生态廊道（C）、普文—景讷生态廊道（D）、普文—

班竹林生态廊道（E）和普文—勐旺生态廊道（F）的阻力值在8.85—5.39之间，相对较低，亚洲象通过的阻碍较小，且4条廊道位于景观连通的关键区域（高电流密度区域）（图4），亚洲象在廊道内的更容易通过[28,30,31]。

本研究基于亚洲象长期监测大数据和系统野外调查，识别出了连通当前亚洲象种群的关键生态廊道。当前，亚洲象活动范围有明显扩张态势，象群北移使得Zhang等[33]在2015年提出的廊道区域II（图2）现已成为其主要活动区域，且与周边活动区域连通性良好，无需进行额外的廊道规划。此外，Huang等[34]在2019年提出的廊道2和3（图2）在优化后的电流模型中阻力值过高，连通性低，本方案也未采用这2条廊道。

本方案提出的技术流程将相关影响因素作为变量，包括直接影响亚洲象活动的自然环境和人为干扰

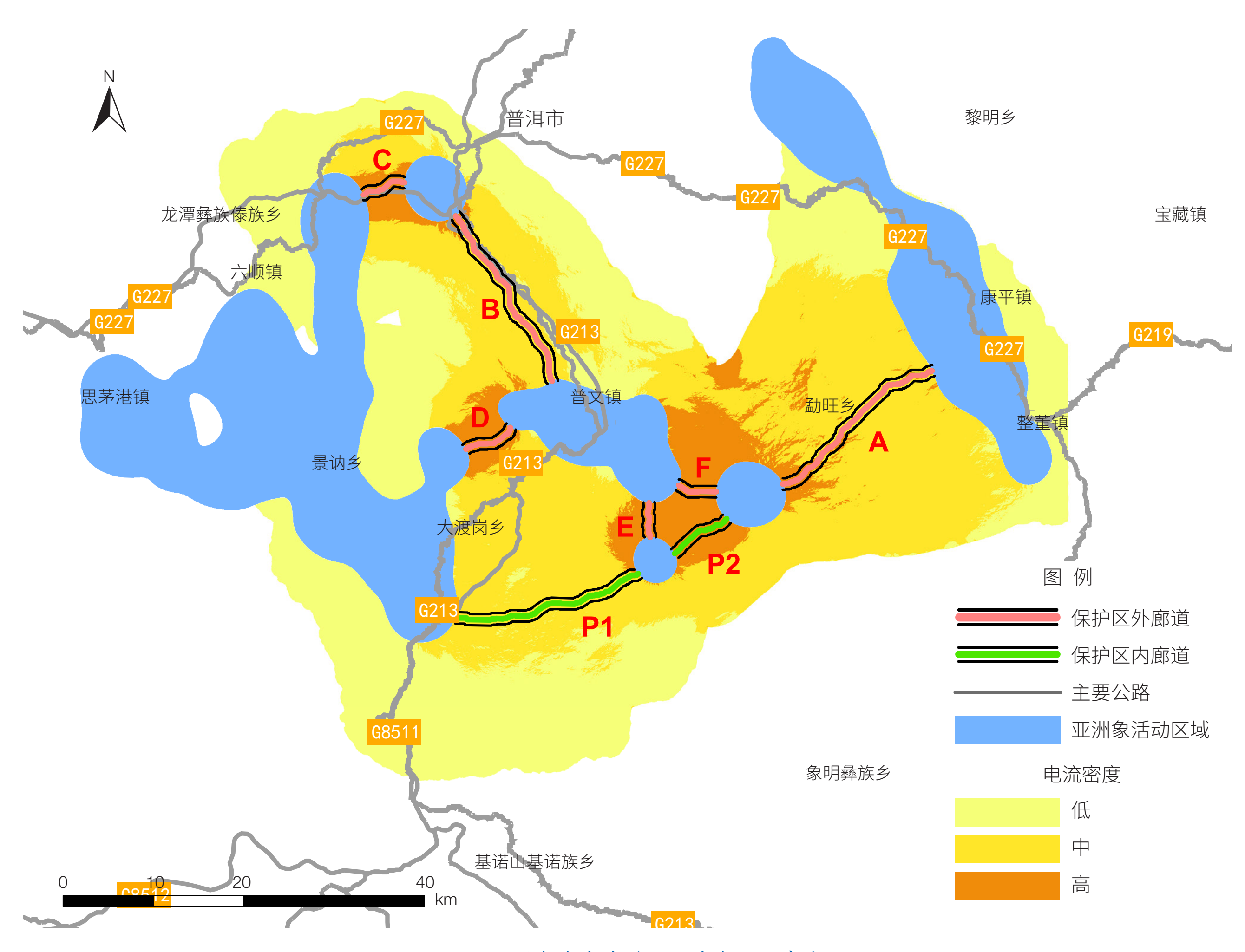


图4　亚洲象生态廊道与区域内电流密度

Figure 4　Asian elephant ecological corridors and regional current density

图中字母所在地图位置标识不同生态廊道，A标记处为勐旺—江城生态廊道、B标记处为普文—南屏生态廊道、C标记处为南屏—六顺生态廊道、D标记处为普文—景讷生态廊道、E标记处为普文—班竹林生态廊道、F标记处为普文—勐旺生态廊道、P1标记处为景讷—班竹林生态廊道、P2标记处为勐旺—班竹林生态廊道

The location of the letters in the map identifies the different ecological corridors, A marks Mengwang–Jiangcheng corridor, B marks Puwen–Nanping corridor, C marks Nanping–Liushun corridor, D marks Puwen–Jingne corridor, E marks Puwen–Banzhulin corridor, F marks Puwen–Mengwang corridor, P1 marks Jingne–Banzhulin corridor, and P2 marks Mengwang–Banzhulin corridor

因素，气候变化间接影响的土地利用与植被变化、水资源可得性因素等，可以更全面地反映亚洲象的迁移阻力。此外，在亚洲象生态廊道优化过程中还考虑了廊道功能的有效性、具体落实的可行性及对当地居民生产生活的影响，实地勘察廊道区域环境并进行针对性调整，在保证亚洲象种群顺利通行的前提下避开耕地、居民点、道路等难以通行区域[14]，连通隔离象群，缓解人象冲突。基于实证研究的廊道规划方案也将为亚洲象国家公园建设提供有力支撑。

3 推进亚洲象保护的相关建议

2010年，十七届五中全会强调要加快建设资源节约型环境友好型社会、提高生态文明水平，积极应对全球气候变化，大力发展循环经济，加强资源节约和管理，加大环境保护力度，加强生态保护和防灾减灾体系建设，增强可持续发展能力。中国共产党提出生态文明建设思想，坚持统筹山水林田湖草沙系统治理，维护生态平衡，推动绿色发展，实现经济发展与生态文明建设有机统一。为更好保护森林生态系统的“工程师”——亚洲象，针对我国亚洲象种群与分布现状和保护需求，提出如下4条保护措施建议。

（1）构建以国家公园为载体的亚洲象保护工程体系。以“山水林田湖草沙是生命共同体”理念为指导，加强区域受损生态系统的生态修复和建设，推进自然和人工生态系统的区域生物多样性保育，维系区域生态平衡等综合生态服务功能。亚洲象保护工程体系的构建可实现我国亚洲象保护工作全覆盖，增进亚洲象种群和基因的自然交流，促进亚洲象种群复壮，缓解人象冲突，为亚洲象保护与拟建国家公园等自然保护地的布局提供科学依据，为促进人与自然和谐、区域经济社会可持续发展提供科技支撑。

（2）构筑亚洲象生态廊道网络，连通隔离的亚洲象种群。以国家公园和自然保护地为关键节点，科学构建“栖息地—生态廊道”网络体系，优化生态廊道空间结构，改善生态廊道环境质量，提升景观连通性，通过生态廊道网络连接亚洲象隔离种群。亚洲象生态廊道设计过程中需充分考虑亚洲象种群扩散能力及其对食物、水源和庇护所的生境需求，避开大面积农田、村庄等人口稠密区域与公路、铁路线性基础设施。对亚洲象栖息地展开整体规划，进行分区管理，持续完善亚洲象栖息地保护体制。基于亚洲象种群扩散趋势，调整优化亚洲象分布区域内的种植结构，并在亚洲象核心活动区域补充食物资源、建设人工硝塘，辅以围栏、防象沟等防护措施，积极引导亚洲象重回自然保护区，促进亚洲象与人和谐共处。通过亚洲象生态廊道设计与示范，可有效增强生态系统完整性与连通性建设和保护，防止“生态孤岛”出现，践行“绿水青山就是金山银山”的理念。

（3）开创社会广泛参与亚洲象保护的新模式。建立健全政府主导、多方参与的亚洲象长效保护机制，完善生物多样性与野生动植物保护相关法律法规，提高国家公园和自然保护地的监管能力，努力促进人与自然和谐共生。政府和社会各界应积极开展亚洲象及其他珍稀濒危物种保护的宣传教育工作，充分利用手机、电视等线上网络途径宣传亚洲象保护的成果与贡献，提高公众对生物多样性和生态保护的认识。同时，发挥科研院校优势，加强技术支撑和人才培养，持续推进生态文明建设。保护生态系统和生物多样性是一个全球性的任务，需要各国共同努力，在亚洲象保护领域，亚洲象分布国的跨境合作能够促进技术交流，共同制定保护策略，合力建设跨国生态廊道，携手打击违法盗猎行为，为亚洲象打造良好的生存环境。此外，还需要对亚洲象开展长期监测，持续完善亚洲象监测预警体系，收集亚洲象种群及个体遗传信息并建立对应档案，积极推进亚洲象及其他珍稀濒危物种的收容救治与野外放归工作。积极开展野生动物肇事补偿工作，通过野生动物肇事公众责任保险补偿亚洲象对当地居民造成的损失，构建人象和谐共生的

现代生态体系。

（4）加强亚洲象基础研究，指导亚洲象科学保护。聚焦亚洲象保护的科学前沿及关键技术难题，深入开展亚洲象行为、生态、生理、栖息地、种群结构、种群遗传等方面的研究，为亚洲象种群的科学保护和有效管理提供理论依据和技术支撑，为更好解决人象冲突乃至处理人与自然的关系提供科学指导。通过对亚洲象取食习惯和适宜栖息地环境特征的探索，应用于亚洲象栖息地改造和食源地建设，提升原生栖息地对亚洲象的吸引力。分析亚洲象在各个斑块间的运动模式和扩散趋势，掌握驱动亚洲象扩散的因素，引导亚洲象种群移动与回归自然保护区。尝试全球定位系统（GPS）定位项圈、红外相机阵列、无人机巡逻、社区共同监测等多种监测方式，培训亚洲象监测人员专业技能，加强亚洲象监测效率，及时高效发布预警信息，保障人象安全，减少冲突损失。

参考文献

1 云南省动物研究所第一研究室兽类组. 云南野象的分布和自然保护. 动物学杂志, 1976, (2): 38-39.
Mammal Research Group, First Laboratory of Yunnan Institute. Distribution and conservation of wild elephants in Yunnan. Chinese Journal of Zoology, 1976, (2): 38-39. (in Chinese)

2 IUCN SSC Asian Elephant Specialist Group. Third Asian Elephant Range States Meeting. Kathmandu: IUCN, 2022.

3 Chen Y, Sun Y K, Atzeni L, et al. Anthropogenic pressures increase extinction risk of an isolated Asian elephant (*Elephas maximus*) population in southwestern China, as revealed by a combination of molecular- and landscape-scale approaches. Integrative Zoology, 2022, 17(6): 1078-1094.

4 He C H, Du J J, Zhu D, et al. Population viability analysis of small population: A case study for Asian elephant in China. Integrative Zoology, 2020, 15(5): 350-362.

5 吴展波, 孙捷, 郑光玉. 玉磨铁路对亚洲象的影响及保护对策. 环境影响评价, 2017, 39(1): 38-41.
Wu Z B, Sun J, Zheng G Y. Impact of Yuxi-Mohan railway on Asian elephants and protection countermeasures. Environmental Impact Assessment, 2017, 39(1): 38-41. (in Chinese)

6 关磊, 王云, 陈兵, 等. 思小高速公路野象谷段路域亚洲象活动规律. 交通运输研究, 2020, 6(4): 52-59.
Guan L, Wang Y, Chen B, et al. Activity rhythm of Asian elephants at wild elephant valley section of Simao-Xiaomengyang expressway. Transport Research, 2020, 6(4): 52-59. (in Chinese)

7 Huang C, Li X Y, Hu W Q, et al. Predicting indirect effects of transportation network expansion on Asian elephants: Implications for environmental impact assessments. Biotropica, 2020, 52(1): 196-202.

8 何謦成. 近50年西双版纳人象关系演变研究. 昆明: 云南大学, 2013.
He Q C. A Study on Progression of Human-Elephant Relations in the Last 50 Years in Xishuangbanna. Kunming: Yunnan University, 2013. (in Chinese)

9 Wang Z H, Li Z L, Tang Y J, et al. China's dams isolate Asian elephants. Science, 2020, 367(6476): 373-374.

10 胡哲畅. 勐养—普洱种群亚洲象栖息地利用及其与社区共存. 北京: 中国科学院大学, 2021.
Hu Z C. Habitat Utilization and Community Coexistence of Asian Elephant in Mengyang – Pu'er Population, Yunnan. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2021. (in Chinese)

11 Fernando P, Leimgruber P, Prasad T, et al. Problem-elephant translocation: Translocating the problem and the elephant?. PLoS One, 2012, 7(12): e50917.

12 Sukumar R. The management of large mammals in relation to male strategies and conflict with people. Biological Conservation, 1991, 55(1): 93-102.

13 Cushman S A. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. Biological Conservation, 2006, 128(2): 231-240.

14 陈明勇. 中国亚洲象保护廊道研究. 昆明: 云南科技出版社, 2010.
Chen M Y. Asian Elephant Conservation Corridors in China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2010. (in Chinese)

15 Cushman S A, Mckelvey K S, Schwartz M K. Use of empirically derived source-destination models to map regional conservation corridors. Conservation Biology, 2009, 23(2): 368-376.

16 Green S E, Davidson Z, Kaaria T, et al. Do wildlife corridors link or extend habitat? Insights from elephant use of a Kenyan wildlife corridor. African Journal of Ecology, 2018, 56(4): 860-871.

17 Vanthomme H P, Nzamba B S, Alonso A, et al. Empirical selection between least-cost and current-flow designs for establishing wildlife corridors in Gabon. Conservation Biology, 2019, 33(2): 329-338.

18 Walker B, Salt D. Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World. Saint Louis: Island Press, 2012.

19 林柳, 朱文庆, 张龙田, 等. 云南西双版纳尚勇保护区亚洲象新活动廊道的开辟和利用. 兽类学报. 2008, 28(4): 325-332.

Lin L, Zhu W Q, Zhang L T, et al. The opening up and utilization of a new movement corridor by Asian elephants (*Elephas maximus*) in Shangyong Nature Reserve, Yunnan. Acta Theriologica Sinica, 2008, 28(4): 325-332. (in Chinese)

20 Trombulak S C, Baldwin R F. Landscape-Scale Conservation Planning. Berlin: Springer Nature, 2010.

21 Resasco J. Meta-analysis on a decade of testing corridor efficacy: What new have we learned?. Current Landscape Ecology Reports, 2019, 4: 61-69.

22 Keeley A T, Beier P, Creech T, et al. Thirty years of connectivity conservation planning: An assessment of factors influencing plan implementation. Environmental Research Letters, 2019, 14(10): 103001.

23 Wang H J, Wang P Z, Zhao X, et al. What triggered the Asian elephant's northward migration across southwestern Yunnan?. The Innovation, 2021, 2(3): 100142.

24 Kanagaraj R, Araujo M B, Barman R, et al. Predicting range shifts of Asian elephants under global change. Diversity and Distributions, 2019, 25(5): 822-838.

25 Baskaran N, Balasubramanian M, Swaminathan S, et al. Home Range of Elephants in the Nilgiri Biosphere Reserve, South India. Oxford: Oxford University Press, 1995: 296-313.

26 Aini S, Patah N A, Sood A M, et al. A study on the home range and habitat utilization of a translocated elephant using remote sensing and GIS// Asian Conference on Remote Sensing. Manila: Asian Association on Remote Sensing, 2015.

27 Fernando P, Wikramanayake E D, Janaka H K, et al. Ranging behavior of the Asian elephant in Sri Lanka. Mammalian Biology, 2008, 73(1): 2-13.

28 宋利利, 秦明周. 整合电路理论的生态廊道及其重要性识别. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3344-3352.

Song L L, Qin M Z. Identification of ecological corridors and its importance by integrating circuit theory. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(10): 3344-3352. (in Chinese)

29 黄程. 斑块化景观中人与亚洲象冲突及共存机制探讨. 北京: 中国科学院大学, 2019.

Huang C. Mechanisms of Human-Elephant Conflict and Coexistence in Fragmented Landscapes. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019. (in Chinese)

30 Mcrae B H, Beier P. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. PNAS, 2007, 104(50): 19885-19890.

31 Mcrae B H, Dickson B G, Keitt T H, et al. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. Ecology, 2008, 89(10): 2712-2724.

32 林柳, 冯利民, 赵建伟, 等. 在西双版纳国家级自然保护区用3S技术规划亚洲象生态走廊带初探. 北京师范大学学报(自然科学版). 2006, 42(4): 405-409.

Lin L, Feng L M, Zhao J W, et al. A preliminary study on designing ecological corridors in Xishuangbanna national nature reserve with 3S techniques. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2006, 2(4): 405-409. (in Chinese)

33 Zhang L, Dong L, Lin L, et al. Asian elephants in China: Estimating population size and evaluating habitat suitability. PLoS One, 2015, 10(5): e124834.

34 Huang C, Li X Y, Khanal L, et al. Habitat suitability and connectivity inform a co-management policy of protected area network for Asian elephants in China. PeerJ, 2019, 7: e6791.

Conception on Asian elephant ecological corridor planning with implications for conservation

LI Xueyou YU Qiupeng HU Zhechang JIANG Xuelong*

(State Key Laboratory of Genetic Resources and Evolution & Yunnan Key Laboratory of Biodiversity and Ecological Conservation of Gaoligong Mountain, Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China)

Abstract In order to practice the concept of coordinated development of "Lucid Waters and Lush Mountains are Invaluable Assets" and "mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands and deserts are part of the community of life", this study takes "pursuing green development and promoting harmony between humanity and nature" proposed in the report of the 20th National Congress of the Communist Party of China as the theoretical guidance. With the goal of enhancing ecosystem integrity and connectivity, enhancing population communication, enhancing population viability, and providing a model for the construction of ecological corridors for flagship species, based on the current distribution and habitat selection strategies of Asian elephants, the study follows the technological process of "Obtaining species distribution—Identifying habitat sources and resistance surface relating to elephant distribution—Constructing corridors based on the least cost path model—Extracting corridor centrality, pinch points, and barrier through circuit theory—Field investigation and validation—Adjusting and optimizing corridor design—Recommending corridor construction design scheme—Carrying out long-term monitoring of wildlife utilization of corridors", and suggests construction idea of Asian elephant ecological corridor and related conservation advices. Above conceptions and advice serve for the strategic layout of "intensifying the protection of ecosystems", "improving the system of shields for ecological security, and developing corridors and biodiversity protection networks", providing technical support for scientific protection and effective management of Asian elephant population, offering a scientific basis for habitat restoration and layout of planned national parks and other protected area.

Keywords Asian elephant, corridor, conservation, human-elephant conflict

李学友 中国科学院昆明动物研究所副研究员。主要研究领域：旗舰珍稀野生动物多样性与保护。E-mail: lixueyou@mail.kiz.ac.cn

LI Xueyou Associate Professor of Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on biodiversity and conservation of flagship and endangered wildlife species. E-mail: lixueyou@mail.kiz.ac.cn

蒋学龙 中国科学院昆明动物研究所研究员。主要研究领域：兽类分类与演化、濒危动物生态与保护。E-mail: jiangxl@mail.kiz.ac.cn

JIANG Xuelong Professor of Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on taxonomy and systematics of mammals, ecology and conservation of endangered animals. E-mail: jiangxl@mail.kiz.ac.cn

■责任编辑：文彦杰

*Corresponding author